

Т. Х. Содикзода, Д. М. Суворов, В. М. Сущих  
Вятский государственный университет, г. Киров  
[tima-ti.97@mail.ru](mailto:tima-ti.97@mail.ru)

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГТУ С ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ВПРЫСКОМ ПАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА

*В работе рассматривается эффективность работы ГТУ с энергетическим впрыском водяного пара в камеру сгорания. Этот пар производится в котле-утилизаторе за счет теплоты уходящих газов данной ГТУ. Приведены значения КПД газотурбинной установки при замещении вторичного воздуха подаваемым паром. Определены зависимости КПД для ГТУ типа STIG от степени повышения давления в компрессоре и от температуры газов на входе в турбину и установлен экстремальный характер второй из них.*

Ключевые слова: газотурбинная установка; энергетический впрыск водяного пара; камера сгорания; котел-утилизатор; эффективность работы.

T. Kh. Sodikzoda, D. M. Suvorov, V. M. Sushchikh  
Vyatka State University, Kirov

## EFFICIENCY OF GAS TURBINES WITH ENERGY INJECTION OF STEAM USING A BOILER-UTILIZER

*The paper considers the efficiency of GTU with energy injection of water steam into the combustion chamber. This steam is produced in the boiler-utilizer due to the heat of the outgoing gases from this gas turbine. The values of the efficiency of the gas turbine installation when replacing the secondary air with the supplied steam are given. The dependences of the efficiency for STIG type gas turbines on the degree of increase in pressure in the compressor and on the temperature of the gases at the turbine inlet are determined, and the extreme nature of the second of them is established.*

Keywords: gas-turbine unit, injection, energy injection of water steam, combustion chamber, boiler-utilizer, efficiency.

Данная работа является продолжением предыдущих работ [1–3]. Ранее было установлено [1], что впрыск пара от постороннего источника не приводит к существенному росту КПД из-за больших энергетических затрат на производство этого пара. Поставлена задача оценить эффективность получения пара для подачи в камеру сгорания газотурбинной установки от котла-утилизатора (КУ) этой же ГТУ.

Существующая компьютерная программа, основанная на математической модели, представленной в [2], была модернизирована. В соответствии с новой программой, в котле утилизаторе производится водяной пар, который поступает в качестве охлаждающего потока в камеру сгорания. Количество этого пара определяется тепловой мощностью котла утилизатора, причем во всех расчетах приняты температура на выходе из котла-утилизатора  $t_5 = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$  и температура наружного воздуха  $t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Методика расчета представлена также в работе [2].

Расход охладителя подобран для обеспечения заданной температуры на входе в газовую турбину. Чем выше температура газов на входе в газовую турбину, тем меньший их расход необходим для выработки заданной электрической мощности.

Охлаждающего пара из КУ недостаточно, поэтому температура на выходе из КС поддерживается дополнительной подачей воздуха через компрессор (рис. 1).

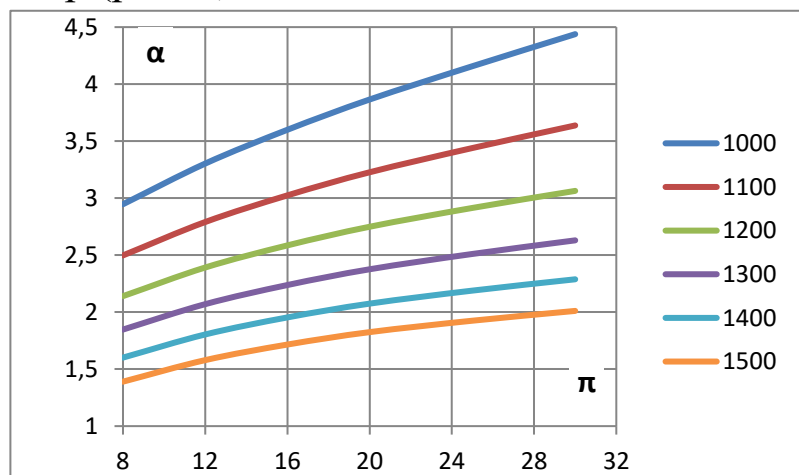


Рис. 1. Зависимость коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  от степени повышения давления  $\pi$  при различных температурах на входе в газовую турбину  $t_3$  (значения  $t_3$  приведены в легенде в градусах Цельсия)

Внутренний КПД цикла газотурбинной установки может быть найден по выражению (1)[4]:

$$\eta = (H_T - H_K)/q_1 = H/q_1 \quad (1)$$

где  $H_T$ —действительный теплоперепад в турбине;

$H_K$ —действительный теплоперепад в компрессоре;

$q_1$ —теплота, подведенная к 1 килограмму рабочего тела.

По результатам расчетов на модели установлена зависимость внутреннего КПД ГТУ  $\eta$  от температуры на входе в газовую турбину  $t_3$  при различных степенях повышения давления  $\pi$  (рис. 2).

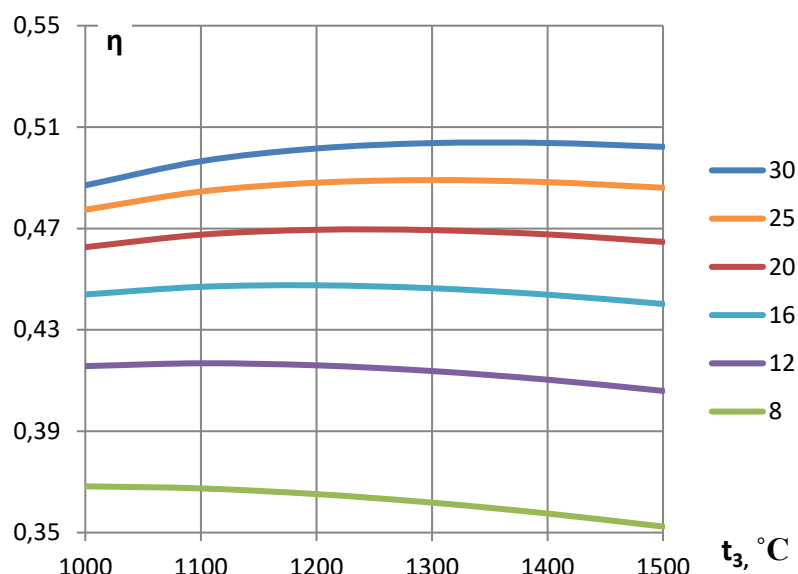


Рис. 2. Зависимость внутреннего КПД ГТУ  $\eta$  от температуры на входе в газовую турбину  $t_3$  при различных степенях повышения давления  $\pi$ , указанных в легенде справа от графика

Экстремальный характер этой зависимости при любом  $\pi$  обусловлен тем, что при постоянной температуре на выходе из котла-утилизатора рост температуры  $t_3$  увеличивает мощность КУ и расход подаваемого в камеру сгорания ГТУ охлаждающего пара, что приводит к увеличению доли водяного пара в уходящих из котла газах и, следовательно, потерь теплоты с уходящими газами, несмотря на постоянную их температуру.

Проведенные расчеты подтвердили известное положение о том, что эффективность работы ГТУ-STIG намного выше, чем простой ГТУ, что предопределяет возможный рост интереса к таким установкам в условиях ограничений на выброс парниковых газов в

соответствии с Парижским соглашением по климату (2015). Новизна полученных результатов характеризуется установленной экстремальной зависимостью внутреннего КПД ГТУ-STIG от температуры газов на входе в газовую турбину  $t_3$  в максимально широком диапазоне возможных значений степени повышения давления в цикле.

В ходе дальнейших работ предполагается исследовать эффективность ГТУ-STIG с КУ конденсационного типа в широком диапазоне внешних граничных условий, что, как предполагается, во-первых, должно еще больше повысить эффективность таких установок, и, во-вторых, сократить выброс водяных паров в атмосферу с уходящими газами.

#### Список использованных источников

1. Содикзода Т. Х., Суворов Д. М. Исследование эффективности циклов газотурбинных установок с энергетическим впрыском пара // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика : материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н.И. (1945-2015) – Даниловских чтений, Екатеринбург, 10-14 декабря 2018 г. Екатеринбург : УрФУ, 2018. С. 419–422.
2. Суворов Д. М., Сущих В. М., Содикзода Т. Х. Расчётная модель ГТУ с энергетическим впрыском водяного пара // Общество. Наука. Инновации (НПК-2019) [Электронный ресурс] : сб. ст. : XIX Всерос. науч.-практ. конф., 1-26 апреля 2019 г. В 4 т. Т. 2. Технические и физико-математические науки. Киров : ВятГУ, 2019. С. 349–354.
3. Suvorov D. M., Tatarinova N. V., Krupin D. F., Suvorova L. A., Baibakova T. V. Energy and economic efficiency of gas turbine units and heat pumps in power-supply systems in the Arctic regions of Russia // Problemele Energeticii Regionale. 2017. №. 1 (33). С. 66–76.
4. Паровые и газовые турбины для электростанций [Электронный ресурс]: учебник для вузов / А. Г. Костюк, В. В. Фролов, А. Е. Булкин, А. Д. Трухний, под ред. А. Г. Костюка. М. : Издательский дом МЭИ, 2016. С. 372–399.